



RECD 27 MAY 2005

WIPO

PCT

BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

18 AVR. 2005

Fait à Paris, le _____

Pour le Directeur général de l'Institut
national de la propriété industrielle
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

DOCUMENT DE PRIORITÉ

PRÉSENTÉ OU TRANSMIS
CONFORMÉMENT À LA
RÈGLE 17.1.a) OU b)

INSTITUT
NATIONAL DE
LA PROPRIÉTÉ
INDUSTRIELLE

SIEGE
26 bis, rue de Saint-Petersbourg
75800 PARIS cedex 08
Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04
Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23
www.inpi.fr



BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ

26bis, rue de Saint-Pétersbourg
75800 Paris Cédex 08
Téléphone: 01 53.04.53.04 Télécopie: 01.42.94.86.54

Code de la propriété intellectuelle-livreVI
REQUÊTE EN DÉLIVRANCE

DATE DE REMISE DES PIÈCES: N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL: DÉPARTEMENT DE DÉPÔT: DATE DE DÉPÔT:	Laurence LENNE FERAY LENNE CONSEIL 44/52, rue de la Justice 75020 PARIS France
Vos références pour ce dossier: P001199-LL-SSU	

1 NATURE DE LA DEMANDE			
Demande de brevet			
2 TITRE DE L'INVENTION			
Procédé de fabrication de plaques de silicium polycristallin			
3 DECLARATION DE PRIORITE OU REQUETE DU BENEFICE DE LA DATE DE DEPOT D'UNE DEMANDE ANTERIEURE FRANCAISE			
Pays ou organisation Date N°			
4-1 DEMANDEUR			
Nom SOLARFORCE Rue 25/59, chemin Saint-André Code postal et ville 69 LIMONEST Pays France Nationalité France			
Forme juridique Société par actions simplifiée (SAS)			
5A MANDATAIRE			
Nom LENNE Prénom Laurence Qualité CPI: 01-0101, Pas de pouvoir Cabinet ou Société FERAY LENNE CONSEIL Rue 44/52, rue de la Justice Code postal et ville 75020 PARIS N° de téléphone 01 53 39 93 93 N° de télécopie 01 53 39 93 83 Courrier électronique mail@feraylenne.com			
6 DOCUMENTS ET FICHIERS JOINTS			
Texte du brevet		Fichier électronique	Pages
Dessins		textebrevet.pdf	21
		dessins.pdf	2
Détails D 15, R 5, AB 1 page 2, figures 9, Abrégé: page 1, Fig.3			
7 MODE DE PAIEMENT			
Mode de paiement		Prélèvement du compte courant	
Numéro du compte client		3103	

8 RAPPORT DE RECHERCHE				
Etablissement immédiat				
9 REDEVANCES JOINTES				
062 Dépôt	Devise	Taux	Quantité	Montant à payer
063 Rapport de recherche (R.R.)	EURO	0.00	1.00	0.00
068 Revendication à partir de la 11ème	EURO	320.00	1.00	320.00
Total à acquitter	EURO	15.00	20.00	300.00
				620.00

La loi n°78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique aux fichiers et aux libertés s'applique aux réponses faites à ce formulaire. Elle garantit un droit d'accès et de rectification pour les données vous concernant auprès de l'INPI.

Signé par

Signataire: FR, Feray Lenne Conseil, L. Lenne

Emetteur du certificat: DE, D-Trust GmbH, D-Trust for EPO 2.0

Fonction

Mandataire agréé (Mandataire 1)



BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITÉ

Réception électronique d'une soumission

Il est certifié par la présente qu'une demande de brevet (ou de certificat d'utilité) a été reçue par le biais du dépôt électronique sécurisé de l'INPI. Après réception, un numéro d'enregistrement et une date de réception ont été attribués automatiquement.

Demande de brevet : X

Demande de CU :

DATE DE RECEPTION	5 avril 2004	Dépôt en ligne: X Dépôt sur support CD:
TYPE DE DEPOT	INPI (PARIS) - Dépôt électronique	
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL ATTRIBUE PAR L'INPI	0450680	
Vos références pour ce dossier	P001199-LL-SSU	

DEMANDEUR

Nom ou dénomination sociale	SOLARFORCE
Nombre de demandeur(s)	1
Pays	FR

TITRE DE L'INVENTION

Procédé de fabrication de plaques de silicium polycristallin
--

DOCUMENTS ENVOYES

package-data.xml	Requetefr.PDF	fee-sheet.xml
Design.PDF	ValidLog.PDF	textebrevet.pdf
FR-office-specific-info.xml	application-body.xml	request.xml
dessins.pdf	indication-bio-deposit.xml	

EFFECTUE PAR

Effectué par:	L. Lenne
Date et heure de réception électronique:	5 avril 2004 17:41:41
Empreinte officielle du dépôt	A2:11:C9:78:A9:0A:D6:F4:07:34:1A:FE:44:FE:BF:D6:9F:30:60:72

/ INPI PARIS, Section Dépôt /

SIEGE SOCIAL
INSTITUT 26 bis, rue de Saint Poltersbourg
NATIONAL DE 75800 PARIS cedex 08
LA PROPRIETE Téléphone : 01 53 04 53 04
INDUSTRIELLE Télécopie : 01 42 93 59 30

Procédé de fabrication de plaques de silicium polycristallin

La présente invention concerne un procédé de fabrication de plaques de silicium polycristallin, notamment de faible épaisseur, dont l'une au moins des deux faces de chaque plaque a un relief prédéterminé. Ce relief peut être présent sur la majeure partie de la face (c'est le cas de la texturation par exemple) et/ou sur une faible partie (c'est par exemple le cas du marquage d'une plaque ou du renforcement de sa rigidité par des nervures). Le procédé s'applique tout particulièrement à la fabrication de cellules solaires, 10 appelées cellules photovoltaïques ou photopiles.

Une cellule photovoltaïque type est une diode à jonction $n-p$, dont la jonction très peu profonde est parallèle à la surface. Sous éclairement, les photons dont l'énergie $h\nu$ est supérieure à la largeur de bande interdite E_g du semi-conducteur sont absorbés et créent des paires électron-trou. Les 15 porteurs minoritaires ainsi générés (trous dans la zone n et électrons dans la zone p) sont collectés par la jonction $n-p$. Il en résulte un courant I_{ph} , qui circule de la région n vers la zone p . Des contacts métalliques sont réalisés sur la surface de la zone de type n (émetteur) et sur la face arrière de la zone de type p (base) pour collecter ce courant.

20 Le marché de l'électricité photovoltaïque est dominé par les cellules photovoltaïques du type jonction $n-p$ (ou $p-n$) réalisées sur du silicium cristallisé. Il est toujours nécessaire de rechercher la valeur maximale de la densité de photocourant générée sous un éclairement donné. Ceci revient à maximiser la collecte des porteurs minoritaires générés par la partie utile du 25 rayonnement incident (photons d'énergie $h\nu > E_g$). Plusieurs méthodes sont utilisées à cet effet. On peut citer par exemple l'augmentation d'épaisseur de la base pour permettre l'absorption des photons de grande longueur d'onde – proche infrarouge (mais au détriment de la consommation de silicium), la réduction de la profondeur de la jonction pour favoriser l'absorption des 30 photons de courte longueur d'onde – proche UV – dans la base, le dépôt d'une couche anti-reflet sur la face éclairée pour améliorer la collecte du

rayonnement incident ou encore la réduction des processus de recombinaison aux interfaces (face avant, face arrière, contacts).

Une dernière méthode est la texturation de la surface. Cette méthode, décrite par exemple dans l'article de J.Nijs, J.Szlufcik, J.Poortmans et al., publié dans IEEE Trans. Electron Devices 46 (10) (1999) 1948, consiste à former en surface un relief, autrement dit à texturer la surface, en forme de pyramides. La figure 1 illustre le principe de fonctionnement de cette méthode. La face 10 de la couche de silicium 12 qui reçoit la lumière est composée d'un réseau de pyramides quasi identiques et adjacentes 14 (des triangles en coupe) dont les faces latérales forment un angle d'environ 45 degrés par rapport à la base des pyramides. Un faisceau lumineux incident 16 normal à la surface donne lieu d'une part à un faisceau réfracté 18, qui est absorbé dans la couche 12, et à un faisceau réfléchi 20. Ce dernier arrive sur la pyramide voisine et donne lieu d'une part à un faisceau réfléchi 22 qui s'éloigne de la couche de silicium et est donc perdu et d'autre part à un premier faisceau réfracté 24, puis à un second faisceau réfracté 26 qui est absorbé par la couche. Ce relief augmente ainsi le rendement global de la cellule photovoltaïque. En effet :

- le coefficient effectif de réflexion de la lumière sur la face d'entrée est réduit, notamment dans le cas d'une lumière incidente à forte composante en lumière diffuse, et
- l'angle d'inclinaison des rayons lumineux qui se propagent dans la base par rapport à la surface macroscopique de la cellule photovoltaïque est fortement augmenté, avec deux conséquences : d'une part, un accroissement de la distance de propagation dans la base du semi-conducteur et, d'autre part, une augmentation du coefficient de réflexion de la lumière sur la face arrière du semi-conducteur. Ces deux effets augmentent la probabilité d'absorption des photons de grande longueur d'onde. Par voie de conséquence, ils contribuent à augmenter la densité de photocourant et la tension de circuit ouvert de la photopile par rapport à une photopile dont la couche de silicium serait munie de faces planes.

La présence d'une telle texturation devient très importante pour le maintien de hauts rendements de conversion lorsque l'on veut réduire drastiquement l'épaisseur de la couche de silicium de typiquement 300-350 µm (cellules photovoltaïques classiques) à moins de 100 µm, jusqu'à 50 µm 5 (voire en dessous), pour réduire le coût de ces dispositifs. Dans cette gamme, une partie importante du spectre du rayonnement incident, qui se propage au voisinage de la normale à la surface, ne serait pas absorbée dans l'épaisseur du matériau tandis que le coefficient de réflexion en face arrière, sauf précaution particulière, serait inférieur à typiquement 0,6 10 (incidence normale en face arrière).

L'une des applications de la présente invention concerne la texturation de couches de silicium polycristallin pour la fabrication de cellules solaires et est particulièrement intéressante pour les couches de faible 15 épaisseur, inférieure à 300 µm. La texturation consiste à donner à la surface de la couche un relief prédéterminé, par exemple un réseau de rainures parallèles ou un réseau de pyramides.

Selon une première méthode de texturation connue, qui ne concerne que les plaques de silicium monocristallin et dont la surface est proche du 20 plan cristallin (100), la texturation est effectuée par attaque chimique de la surface au moyen d'une solution KOH / isopropanol. Cette attaque, très anisotrope et spécifique de la face cristallographique (100), permet d'obtenir des pyramides de taille micrométrique très régulières et inclinées à 45° sur la surface macroscopique. Cette technique est cependant nettement moins 25 efficace lorsqu'elle est appliquée à des plaques de silicium polycristallin, lesquelles sont de plus en plus utilisées pour des raisons de coût.

Dans ce cas, d'autres techniques ont été essayées. Toutes ces techniques sont des méthodes de gravure isotrope, c'est-à-dire supposées graver tous les grains dans des conditions similaires : attaque en milieu acide 30 par voie chimique ou électrochimique (décrise dans l'article de V.Y.Yerokhov, R.Hezel, M.Lipinski, R.Ciach, H.Nagel, A.Mylyanych, P.Panek, Solar Energy Materials & Solar Cells 72 (2002) 291-298), attaque réactive en phase

gazeuse (désigné par le terme "RIE" pour "Reactive Ion Etching") par exemple au moyen d'un plasma contenant des espèces chlorées (décrise dans l'article de S.Fujii, Y.Fukawa, H.Takahashi, Y.Inomata, K.Okada, K.Fukui, K.Shrasawa, Solar Energy Materials & Solar Cells, 65 (2001) 269-5 275).

Une autre technique connue concerne la gravure mécanique, décrise dans l'article de F.Duerinckx, J.Szulcik, J.Nijs, R.Mertens, C.Gerhards, C.Markmann, P.Fath, G.Willeke, High efficiency, mechanically V.Textured, screen printed multicrystalline silicon solar cells with silicon nitride 10 passivation, Proceedings 2^{ème} World Conference on PV Solar Energy Conversion, 1998. La gravure mécanique consiste à former mécaniquement un relief, par exemple un réseau de rainures parallèles entre elles ou de pyramides, directement sur la surface de la couche de silicium à l'aide d'outils mécaniques tels qu'une meule à diamants. Cependant cette 15 opération perturbe considérablement la structure du silicium sur une épaisseur d'environ dix microns, ce qui a pour effet d'induire des défauts dans tout le volume du silicium consécutivement aux traitements thermiques auxquels est soumis le silicium par la suite. La gravure mécanique est de surcroît lente et onéreuse, et donc industriellement inefficace.

Chacune de ces techniques a des limitations sévères, soit en terme de coût (attaque électrochimique, attaque plasma et gravure mécanique), soit en terme d'efficacité (attaque chimique acide). Plusieurs d'entre elles ne sont pas applicables aux plaques très minces, d'épaisseur inférieure à 300 µm, généralement très fragiles, en raison des manipulations et / ou des 25 contraintes mécaniques qu'elles induisent. C'est le cas de la gravure mécanique et dans une certaine mesure du décapage électrochimique (manipulations). Le procédé de la présente invention ne présente pas les inconvénients ci-dessus.

Une autre application de la présente invention concerne le marquage 30 des plaques afin de différencier une plaque ou une série de plaques de silicium par rapport à d'autres plaques de silicium.

Une autre application de la présente invention concerne le renforcement de la rigidité des plaques de silicium minces.

De façon générale, la présente invention résout le problème de l'impression de plaques de silicium polycristallin, notamment de faibles 5 épaisseurs, inférieures à 300 µm, en proposant un procédé moins coûteux que les méthodes de l'art antérieur, efficace car il ne perturbe pas la structure interne du silicium et qui peut être mis en œuvre industriellement.

De façon plus précise, l'invention a pour objet un procédé de fabrication d'au moins une plaque de silicium polycristallin dont l'une des 10 deux faces a un relief prédéterminé, selon lequel une couche de silicium polycristallin est déposée sur au moins l'une des deux faces d'un support, le procédé étant caractérisé en ce que :

- ladite face du support est imprimée pour lui donner une forme complémentaire dudit relief,
- 15 - ladite couche de silicium polycristallin est déposée sur ladite face imprimée du support, la surface de ladite couche de silicium polycristallin située en contact de ladite face imprimée épousant alors la forme dudit relief, et
- ladite couche de silicium polycristallin est découpée pour former ladite plaque de silicium.

20 Le relief prédéterminé peut avoir une ou plusieurs fonctions. Il peut s'agir par exemple de texturer la ou les faces de la plaque de silicium. Dans ce cas le relief occupe au moins la majeure partie de la ou des faces. Il peut s'agir également, en plus ou indépendamment de la texturation, de marquer la couche de silicium par une référence pour différencier la plaque, ou une 25 série de plaques, issue(s) de cette couche de silicium, par rapport à d'autres plaques de silicium. Le relief peut aussi avoir pour fonction, lorsqu'il ne concerne qu'une partie de la plaque, d'augmenter la rigidité des plaques de silicium minces, qui sont relativement souples, en créant des nervures.

30 L'invention s'appliquant tout particulièrement à la fabrication de cellules solaires, ledit relief peut être choisi de façon à texturer la majeure partie de la surface de la couche de silicium afin d'augmenter la probabilité d'absorption de la lumière incidente dans ladite couche.

Selon une première variante de réalisation de l'invention, ledit relief de texturation a la forme d'un réseau de pyramides sensiblement identiques, les faces latérales de chacune desdites pyramides formant de préférence avec la base de la pyramide des angles sensiblement égaux à 45 degrés. La 5 hauteur desdites pyramides est avantageusement comprise entre 1 et 10 µm.

Selon une autre variante de réalisation, ledit support est un ruban de carbone, lequel est recouvert d'un revêtement protecteur en graphite pyrolytique après impression de sa surface pour lui donner ladite forme 10 complémentaire du relief.

Ladite face du support peut être imprimée pour lui donner une forme complémentaire dudit relief par impression d'une matrice sur ledit support, la surface d'impression de la matrice ayant la forme d'une surface plane sur laquelle a été imprimé ledit relief prédéterminé.

15 Selon une autre variante de réalisation de l'invention, ladite face du support est imprimée pour lui donner une forme complémentaire dudit relief par pincement et défilement dudit support entre deux rouleaux, la surface d'impression de l'un au moins desdits rouleaux ayant la forme dudit relief prédéterminé.

20 Ladite surface d'impression de ladite matrice ou dudit rouleau est de préférence réalisée en un matériau choisi parmi le carbone, le carbure de silicium, le silicium et le nitre de silicium.

25 De façon avantageuse, les surfaces d'impression des deux rouleaux ont la forme dudit relief, les deux faces dudit support prenant alors la forme complémentaire dudit relief lors desdits pincement et défilement entre lesdits rouleaux.

Selon une autre variante de réalisation, une couche de silicium polycristallin est déposée simultanément et en régime continu sur les deux 30 faces dudit ruban en le faisant traverser un bain de silicium fondu et en le tirant verticalement et à vitesse constante, de bas en haut, pour le sortir dudit bain, obtenant ainsi deux couches de silicium polycristallin, chacune ayant une surface ayant ledit relief.

Ledit support est préférentiellement éliminé par brûlage en chauffant à haute température l'ensemble formé par le support et le silicium polycristallin et la face du silicium polycristallin ayant la forme dudit relief est ensuite décapée.

5 Avantageusement, ledit support a une épaisseur comprise entre 200 et 350 µm, de préférence entre 200 et 300 µm, la couche de silicium polycristallin a une épaisseur comprise entre 40 et 300 µm et l'épaisseur dudit revêtement protecteur est sensiblement égale à 1 µm.

10 Selon une autre variante de réalisation, ledit relief est composé, indépendamment ou en plus de la texturation, d'un motif caractérisant ladite plaque ou une série de plaques de silicium. Ce motif peut être par exemple un code barre ou un numéro de référence.

15 Selon une autre variante de réalisation, indépendamment ou en plus de la texturation et/ou du motif caractérisant la plaque, des échancrures sont imprimées sur ladite face dudit support de sorte que des nervures, de forme complémentaire des échancrures, soient formées sur ladite surface de la couche de silicium, ce qui a pour effet d'augmenter la rigidité de la couche de silicium. La profondeur desdites échancrures peut être de quelques dizaines de micromètres et la plus grande largeur desdites nervures peut être au 20 maximum de quelques millimètres.

25 Selon une autre variante de réalisation, chacun desdits rouleaux est formé d'au moins deux molettes dont chaque face forme une face d'impression, les molettes étant séparées par un disque ayant une partie en saillie au-dessus de la face d'impression des molettes, la surface d'impression des rouleaux étant constituée par les faces d'impression des molettes formant la texturation et/ou le motif de la couche de silicium et la partie en saillie du disque formant le relief en forme de nervure perpendiculaire à l'axe de rotation dudit rouleau. De façon avantageuse, chacun des rouleaux est composé d'une succession de molettes séparées 30 par des disques, chacun des disques ayant une partie en saillie au-dessus de la surface des molettes, l'espacement entre lesdits disques constituant le

motif caractérisant ladite plaque ou ladite série de plaques de silicium polycristallin.

Selon une autre variante de réalisation, lesdits rouleaux ou lesdites molettes comportent des rainures longitudinales, parallèles aux axes de 5 rotation des rouleaux ou des molettes. Ces rainures longitudinales peuvent coexister avec les rainures formées par lesdits disques.

D'autres avantages et caractéristiques de l'invention apparaîtront au cours de la description qui va suivre de plusieurs modes de réalisation, 10 donnés à titre d'exemples non limitatifs, en référence aux dessins annexés et sur lesquels:

- la figure 1 illustre le trajet d'un faisceau lumineux incident dans une couche de silicium dont la surface frontale a été texturée pour lui donner un relief en forme de pyramides,
- 15 - la figure 2 illustre de façon schématique le procédé de texturation des deux faces du support de la couche de silicium,
- la figure 3 représente le support et les couches de silicium obtenus à différentes étapes du procédé de fabrication des couches de silicium texturées,
- 20 - la figure 4 représente schématiquement le mode de réalisation préféré du procédé de fabrication des couches texturées,
- la figure 5 montre schématiquement les rouleaux formés de molettes et de disques permettant de texturer et/ou de marquer et de nervurer la surface de la couche de silicium, par l'intermédiaire de l'étape d'impression du support, 25 et
- la figure 6 représente schématiquement en section une molette munie de rainures longitudinales, parallèlement à son axe de rotation.

Selon le procédé de l'invention, la fabrication d'une ou plusieurs plaques minces de silicium polycristallin consiste principalement à déposer 30 ce silicium sous forme d'une couche mince sur la ou les deux faces d'un support qui a ou ont été préalablement imprimées. Le silicium étant déposé sur la surface en relief du support, le silicium épouse la forme de ce relief. En

d'autres termes, la forme de la face de la couche de silicium en contact avec le support est obtenue par moulage du silicium liquide sur le support. Le relief de la face du support est donc choisi complémentaire de la forme que l'on veut donner au relief de la face de la couche mince.

5 Les figures 2, 3 et 4 illustrent le mode de réalisation préféré de l'invention selon lequel deux couches de silicium texturées, marquées et/ou nervurées sont fabriquées simultanément en déposant le silicium sur les deux faces d'un support constitué par un ruban. La première étape du procédé consiste à donner aux deux faces du ruban une forme
10 complémentaire de la forme prédéterminée que l'on veut obtenir pour les faces des deux couches de silicium, faces en regard du support. C'est ce qu'illustre la figure 2, sur laquelle un ruban 28 (représenté en section) est pincé entre deux rouleaux 30 et 32. Ces rouleaux, de forme cylindrique, tournent autour de leurs axes de rotation 34 et 36 dans le sens des flèches
15 respectivement 38 et 40, ce qui a pour effet de tirer le ruban 28 vers le haut, dans le sens de la flèche 42. Selon une autre forme de réalisation, les rouleaux 30 et 40 peuvent tourner librement autour de leurs axes de rotation 34 et 36, l'entraînement du ruban 28 se faisant par un autre moyen indépendant des rouleaux.

20 La surface d'impression de ces rouleaux, de préférence réalisée en carbone, carbure de silicium, silicium ou nitre de silicium, a la forme du relief prédéterminé 44 que l'on veut donner à la surface de la couche de silicium. Le ruban 28 est de préférence en carbone (graphite expansé laminé), un matériau souple, peu élastique et de faible densité (comprise
25 entre 0,6 et 1,3). Ce carbone est par exemple commercialisé sous les appellations "Papyex" de la société Le Carbone Lorraine, "Sigraflex" de la société SGL Carbon et "Grafoil" de la société Union Carbide. Le caractère peu élastique de ces matériaux permet de réaliser sur chacune des surfaces 46 et 48 du ruban 28 un excellent moulage du relief 44 des rouleaux lors du
30 défilement du ruban 28 entre les rouleaux 30 et 32. Le ruban 28 a une épaisseur approximative de 200 à 300 µm et peut être livré en rouleaux d'un mètre de largeur et de plusieurs centaines de mètres de longueur.

Cependant, pour le mode de réalisation décrit ici, on utilise de préférence une largeur d'environ quinze centimètres.

Sur la figure 2, qui n'est qu'une représentation schématique, le relief 44 peut être un réseau de rainures parallèles ou perpendiculaires aux axes 5 de rotation 34 et 36 des rouleaux, lorsque le but recherché est la texturation des faces des couches de silicium. Dans le premier cas, les rainures sont horizontales et orientées dans le sens de la largeur du ruban. Dans le deuxième cas, les rainures sont verticales et orientées dans le sens de la longueur du ruban. Dans les deux cas on obtient un réseau anisotrope à une 10 dimension. On notera que ces deux motifs appliqués à la texturation du ruban de silicium donnent le même résultat, du point de vue de la texturation de la plaque de silicium, qu'une texturation directe du silicium par voie mécanique avec un diamant mais sans les inconvénients de cette dernière technique (lente, agressive et nécessité d'une finition par une attaque 15 chimique en profondeur pour éliminer les dommages de la gravure diamant). Le relief 44 peut également, et de préférence, être un réseau de pyramides adjacentes tel qu'illustré sur la figure 1. Dans tous les cas où l'application considérée est la texturation de la surface, la forme du relief est choisie de façon à augmenter la probabilité d'absorption de la lumière incidente dans la 20 couche de silicium.

La figure 3 illustre les étapes suivantes de la fabrication des couches de silicium. En 3A, on a représenté un ruban de carbone 50 avec ses deux faces texturées 52 et 54 obtenues selon la méthode illustrée sur la figure 2. Ces deux faces 52 et 54 sont ensuite recouvertes (3B) d'une fine couche 25 protectrice 56 et 58 de graphite pyrolytique, ou pyrocarbone, d'épaisseur micrométrique. Du fait de la très faible épaisseur de cette couche, le relief des faces 52 et 54 est conservé. Ce revêtement protecteur est nécessaire car le carbone du ruban 50 réagit avec le silicium fondu pour donner naissance à du carbure de silicium, alors que le graphite pyrolytique est 30 inerte vis-à-vis du silicium fondu.

En 3C, on a montré le ruban de carbone obtenu en 3B avec ses faces en relief 56 et 58 sur lesquelles ont été déposées les deux couches 60

et 62 de silicium polycristallin. La méthode préférée pour le dépôt de ces couches est illustrée sur la figure 4. Le ruban sert à la fois de support des couches de silicium et de moyens permettant de texturer, de marquer et/ou de nervurer les faces 64 et 66 des couches de silicium en regard du ruban 5 selon le relief prédéterminé 44 des rouleaux 30 et 32 (figure 2). En effet, les faces 64 et 66 des couches de silicium épousent, comme par moulage, le relief des faces imprimées respectivement 56 et 58. Ce relief est de forme complémentaire de celui des faces 56 et 58 du ruban support 50; il est donc de forme identique au relief 44 des rouleaux 30 et 32 de la figure 2. On 10 obtient ainsi pour les couches de silicium le relief prédéterminé recherché.

L'étape suivante consiste tout d'abord à couper en plaques, généralement rectangulaires, le ruban composite formé du ruban 50 et des couches de silicium 60 et 62. Puis le ruban support 50 est éliminé (étape 3D) 15 par brûlage sous air à haute température (environ 1000 degrés C) afin d'obtenir deux plaques 68 et 70 de silicium polycristallin. Les faces texturées des plaques subissent ensuite un léger décapage pour éliminer la couche oxydée, de la silice, qui s'est formée en surface. Cette couche oxydée est de très faible épaisseur, de l'ordre de quelques dixièmes de micromètres. Le décapage peut se faire par différentes voies classiques à l'aide par exemple 20 d'acide fluorhydrique gazeux, d'une solution aqueuse d'acide fluorhydrique diluée à 5% dans l'eau, à laquelle peut éventuellement être ajoutée 10% d'acide nitrique, ou encore par attaque réactive en phase gazeuse (appelée "RIE" pour "Reactive Ion Etching") au moyen par exemple d'un plasma contenant des espèces chlorées.

25 Le dépôt des couches de silicium 60 et 62 sur le ruban support 50 est avantageusement effectué selon le procédé illustré sur la figure 4. Ce procédé, appelé procédé "RST" (pour Ruban de silicium sur Substrat de carbone Temporaire), est décrit dans plusieurs brevets, par exemple FR 2 386 359, FR 2 550 965 ou FR 2 568 490. Cependant le procédé décrit 30 dans ces brevets n'utilise pas un ruban de carbone imprimé comme le ruban 50. Les couches de silicium fabriquées selon les enseignements de ces brevets ne sont donc pas imprimées (par exemple texturées, marquées et/ou

nervurées). Sur la figure 4, les faces 74 et 76 d'un ruban de carbone souple 72 (identique au ruban 50 de la figure 3) ont été imprimées (figure 3A) pour prendre la forme complémentaire du relief prédéterminé grâce au procédé illustré sur la figure 2 et ensuite recouvertes d'une couche protectrice de 5 graphite pyrolytique (figure 3B). Un creuset 78 en silice ou en carbone contient un bain 80 de silicium fondu et des moyens (non représentés) pour chauffer le silicium, par exemple des résistances chauffantes entourant le creuset. Le fond du creuset 78 comporte une fente rectiligne 82 à travers laquelle passe verticalement le ruban de carbone 72. Ce dernier est mis en 10 mouvement, verticalement et de bas en haut, par des moyens non représentés et sort du bain 80 en traversant sa surface d'équilibre horizontale 84. La largeur et la longueur de la fente 82 sont déterminées pour que le ménisque de raccordement de silicium liquide soit stable dans cette fente.

15 Lorsque le ruban 72 se déplace dans le sens de la flèche 86, une couche de silicium polycristallin 88 et 90 se dépose sur les faces imprimées respectivement 74 et 76 du ruban support 72. On obtient ainsi l'équivalent du ruban de carbone 50 et des couches 60 et 62 de la figure 3C. L'ensemble ruban support et couches de silicium est ensuite découpé pour former des 20 plaques. Le ruban support 72 est ensuite éliminé et les deux couches de silicium polycristallin obtenues sont traitées comme indiqué précédemment en regard de la figure 3D.

Le procédé décrit en regard de la figure 2 est mis en œuvre à l'aide de deux rouleaux 30 et 32 dont les surfaces d'impression comportent un relief 25 en forme de pyramides, permettant de texturer la couche de silicium. La figure 5 montre schématiquement une forme de réalisation des rouleaux permettant de texturer et/ou de marquer et de nervurer la couche de silicium. Deux rouleaux 92 et 94, qui se font face, tournent autour de leurs axes de rotation parallèles 96 et 98. Un ruban de carbone 100 (montré en section 30 perpendiculairement à sa longueur), destiné à servir de support à la couche de silicium polycristallin, est pincé entre les rouleaux 92 et 94 et défile entre les rouleaux dans le sens perpendiculaire à la feuille de dessin. Le rouleau

92 se compose d'une série de molettes 102, 104, 106 et 108 séparées par des disques 110, 112, 114 et 116. Ces molettes et ces disques ont pour axe de rotation l'axe de rotation 96. De la même façon, le rouleau 94 se compose de molettes 118, 120, 122 et 124 séparées par des disques 126, 128, 130 et 132, les molettes et les disques ayant pour axe de rotation l'axe 98. La surface cylindrique (surface d'impression) de chacune des molettes peut avoir un relief ou un motif d'impression permettant de texturer et/ou de marquer par une référence le ruban de carbone 100. Le diamètre des disques est légèrement supérieur à celui des molettes de sorte qu'une partie 10 134 de chaque disque (la circonference extérieure) fait saillie par rapport à la surface d'impression des molettes. Il en résulte que le relief imprimé dans le ruban 100 par les disques 110 à 116 et 126 à 132 sont des échancrures 136. En déposant la couche de silicium sur le ruban, à l'aide du procédé 15 illustré sur la figure 4 par exemple, la surface de la couche de silicium comportera des rainures, de forme complémentaire aux échancrures 136, dans le sens longitudinal du ruban 100. Ces rainures renforcent la rigidité de 20 la couche de silicium.

Des échancrures peuvent également être réalisées dans le sens de la largeur du ruban. Pour ce faire, les molettes comportent en relief des 25 nervures disposées sur leurs surfaces d'impression. C'est ce que montre schématiquement la figure 6 sur laquelle la molette 102 est représentée en coupe, perpendiculairement à l'axe de rotation 96. Sur la surface cylindrique d'impression de cette molette sont disposées des nervures 138 parallèlement à l'axe de rotation 96. Ces nervures provoquent des échancrures de forme 30 complémentaire dans le ruban support 100 et des nervures de même forme sur la couche de silicium. De telles nervures 138 peuvent être disposées de la même façon sur les surfaces d'impression de toutes les autres molettes ou d'une partie seulement selon le relief désiré pour la couche de silicium. Le nombre et l'espacement des nervures 138 peuvent être variables.

En combinant les disques de la figure 5 avec les rainures de la figure 6, on obtient un relief en forme de gaufre constitué par un quadrillage de nervures, les unes étant dans le sens de la longueur du ruban et les autres

dans le sens de la largeur du ruban. Dans ce cas, il est préférable que les nervures ne soient pas en contact direct avec les disques, mais soient espacées par un interstice de l'ordre du millimètre ou inférieur.

De préférence, la plus grande largeur des nervures est au plus d'un 5 millimètre et leur hauteur est de quelques dizaines de micromètres.

La section des nervures peut prendre toute forme appropriée au but poursuivi (renforcement de la rigidité de la couche de silicium par exemple), telle qu'une forme en "U" ou en "V".

Le procédé selon l'invention apporte une solution industrielle à 10 l'impression de plaques de silicium polycristallin, comme la texturation, le marquage et/ou le renforcement de la rigidité, sans qu'aucune contrainte mécanique ou chimique ne soit appliquée à la plaque. La structure interne du silicium n'est donc pas endommagée. Lorsque le relief prédéterminé est un réseau de pyramides sensiblement identiques, la texturation obtenue est 15 complètement isotrope avec des possibilités de modulation sur la période du réseau de pyramides et la forme des pyramides. Le procédé peut être mis en œuvre à faible coût, le coût le plus important étant la fabrication des rouleaux 30 et 32 ou 92 et 94 lesquels peuvent être utilisés pour la fabrication de très nombreuses plaques. La texturation obtenue peut être importante (forte 20 densité et/ou intensité du relief) ce qui permet de fabriquer des cellules photovoltaïques à très haut rendement de conversion de la lumière en paires électron-trou. De plus la consommation de produits chimiques est très réduite puisqu'ils ne sont utilisés que pour éliminer la couche de silice qui s'est formée au cours de l'élimination par chauffage du ruban support en 25 carbone.

Selon le mode de réalisation préféré de l'invention décrit précédemment, les deux faces du ruban support en carbone sont texturées et deux couches texturées de silicium polycristallin sont fabriquées simultanément. On pourrait bien entendu ne texturer qu'une seule face du 30 ruban support (en ne texturant qu'un seul des deux rouleaux 30 et 32) et n'obtenir qu'une seule couche de silicium texturée, sans sortir du cadre de la présente invention. De même, un procédé différent de celui illustré sur la

15

figure 4 pourrait être utilisé pour déposer une couche de silicium sur un support. Au lieu d'utiliser des rouleaux pour imprimer le ruban support, on pourrait utiliser une matrice ayant une surface plane imprimée avec le relief prédéterminé.

5

10

15

20

25

30

REVENDICATIONS

1. Procédé de fabrication d'au moins une plaque de silicium polycristallin (68, 70) dont l'une (64, 66) des deux faces a un relief prédéterminé, 5 selon lequel une couche de silicium polycristallin (60, 62) est déposée sur au moins l'une (56, 58) des deux faces d'un support (50), caractérisé en ce que:
 - ladite face (52, 54) du support (50) est imprimée pour lui donner une forme complémentaire dudit relief,
 - ladite couche de silicium polycristallin (60, 62) est déposée sur ladite face imprimée (56, 58) du support (50), la surface (64 ou 66) de ladite couche de silicium polycristallin située en contact de ladite face imprimée (56 ou 58) épousant alors la forme dudit relief, et
 - ladite couche de silicium polycristallin (60 ou 62) est découpée pour former ladite plaque de silicium polycristallin (68 ou 70).
2. Procédé selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que ledit support (50) est un ruban de carbone.
3. Procédé selon la revendication 2 caractérisé en ce que ledit ruban de carbone est recouvert d'un revêtement protecteur (56, 58) en graphite 20 pyrolytique après impression de sa surface (52, 54) pour lui donner ladite forme complémentaire du relief.
4. Procédé selon l'une des revendications précédentes caractérisée en ce que ladite face (46, 48) du support est imprimée pour lui donner une forme complémentaire dudit relief (44) par pincement et défilement 25 dudit support (28) entre deux rouleaux (30,32), la surface d'impression de l'un au moins desdits rouleaux ayant la forme dudit relief prédéterminé.
5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3 caractérisé en ce que 30 ladite face du support est imprimée pour lui donner une forme complémentaire dudit relief par impression d'une matrice sur ledit support, la surface d'impression de la matrice ayant la forme d'une surface plane sur laquelle a été imprimé ledit relief prédéterminé.

6. Procédé selon l'une des revendications 4 et 5 caractérisé en ce que ladite surface dudit rouleau (30,32) ou de ladite matrice est réalisée en un matériau choisi parmi le carbone, le carbure de silicium, le silicium et le nitride de silicium.
- 5 7. Procédé selon l'une des revendications 4 et 6 caractérisé en ce que les surfaces d'impression des deux rouleaux (30,32) ont la forme dudit relief, les deux faces (46,48) dudit support (28) prenant alors la forme complémentaire dudit relief (44) lors desdits pincement et défilement entre lesdits rouleaux.
- 10 8. Procédé selon les revendications 3 et 7 caractérisé en ce qu'une couche de silicium polycristallin (88, 90) est déposée simultanément et en régime continu sur les deux faces (74, 76) dudit ruban (72) en le faisant traverser un bain de silicium fondu (80) et en le tirant verticalement et à vitesse constante, de bas en haut (86) , pour le sortir dudit bain, obtenant ainsi deux couches (88, 90) de silicium polycristallin, chacune ayant une surface ayant ledit relief.
- 15 9. Procédé selon l'une des revendications précédente caractérisé en ce que ledit support (28, 50, 72, 100) est éliminé par brûlage en chauffant à haute température l'ensemble formé par le support et le silicium polycristallin.
- 20 10. Procédé selon la revendication 9 caractérisé en ce que la face (64, 66) du silicium polycristallin ayant la forme dudit relief est décapée après brûlage dudit support.
11. Procédé selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que ledit support (28, 50, 72, 100) a une épaisseur comprise entre 200 et 350 µm, de préférence entre 200 et 300 µm.
- 25 12. Procédé selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que la couche de silicium polycristallin (68, 70, 88, 90) a une épaisseur comprise entre 40 et 300 µm.
- 30 13. Procédé selon la revendication 3 caractérisé en ce que l'épaisseur dudit revêtement protecteur (56, 58) est sensiblement égale à 1 µm.

14. Procédé selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que ladite face (46, 48, 52, 54) dudit support (28, 50) est imprimée de façon à texturer ladite face (64, 66) de ladite couche (68, 70) de silicium polycristallin, ledit relief (44) étant choisi de façon à augmenter la probabilité d'absorption de la lumière incidente dans ladite couche.
5
15. Procédé selon la revendication 14 caractérisé en ce que ledit relief a la forme d'un réseau de pyramides (14) sensiblement identiques.
16. Procédé selon la revendication 15 caractérisé en ce que les faces latérales de chacune desdites pyramides (14) forment avec la base de 10 la pyramide des angles sensiblement égaux à 45 degrés.
17. Procédé selon l'une des revendications 15 et 16 caractérisé en ce que la hauteur desdites pyramides (14) est comprise entre 1 et 10 µm.
18. Procédé selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que ladite face dudit support (28, 50, 72, 100) est imprimée de sorte 15 que ladite surface de ladite couche de silicium soit marquée d'un motif caractérisant ladite plaque ou une série de plaques de silicium polycristallin.
19. Procédé selon la revendication 18 caractérisé en ce que ledit motif est un code barre.
20. Procédé selon la revendication 18 caractérisé en ce que ledit motif est un numéro.
21. Procédé selon l'une des revendications 14 à 17 et 18 à 20 caractérisé 25 en ce que ledit relief est composé de la texturation de ladite face de ladite couche de silicium polycristallin et dudit motif caractérisant ladite plaque.
22. Procédé selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que des échancrures sont imprimées sur ladite face dudit support (100) de sorte que des nervures, de forme complémentaire des échancrures, soient formées sur ladite surface de la couche de silicium, ce qui a pour 30 effet d'augmenter la rigidité de ladite couche.
23. Procédé selon la revendication 22 caractérisé en ce que la profondeur desdites échancrures est de quelques dizaines de micromètres.

24. Procédé selon l'une des revendications 22 et 23 caractérisé en ce que la plus grande largeur desdites nervures est au plus de quelques millimètres.

25. Procédé selon la revendication 2 et l'une des revendications 22 à 24 caractérisé en ce que lesdites nervures sont dans le sens de la longueur dudit ruban (100).

26. Procédé selon la revendication 2 et l'une des revendications 22 à 24 caractérisé en ce que lesdites nervures sont dans le sens de la largeur dudit ruban (100).

27. Procédé selon les revendications 25 et 26 caractérisé en ce que ledit relief est en forme de gaufre, constitué par un quadrillage de nervures dans le sens de la longueur et de la largeur dudit ruban.

28. Procédé selon les revendications 7 et 25 caractérisé en ce que chacun desdits rouleaux (92,94) est formé d'au moins deux molettes (102-108 et 118-124) dont chaque face forme une face d'impression, lesdites molettes étant séparées par un disque (110-116 et 126-132) ayant une partie en saillie (134) au-dessus de la face d'impression desdites molettes, ladite surface d'impression des rouleaux étant constituée par lesdites faces d'impression desdites molettes formant la texturation et/ou le marquage de ladite couche de silicium et ladite partie en saillie (134) dudit disque formant des échancrures 136 dans le ruban support (100) et formant ledit relief en forme de nervures dans la couche de silicium.

29. Procédé selon les revendications 18 et 28 caractérisé en ce que chacun desdits rouleaux (92, 94) est composé d'une succession de molettes (102-108 et 118-124) séparées par des disques (110-116 et 126-132) , chacun desdits disques ayant une partie en saillie (134) au-dessus de la surface desdites molettes créant des échancrures (136) dans le ruban support (100), l'espacement entre lesdites échancrures (136) constituant ledit motif caractérisant ladite plaque ou ladite série de plaques de silicium polycristallin.

30. Procédé selon les revendications 7 et 26 caractérisé en ce que chacun desdits rouleaux (92, 94) est formé d'au moins deux molettes tournant autour d'un axe de rotation et dont chaque face forme une face d'impression, au moins l'une lesdites molettes comportant des rainures longitudinales (134) parallèles audit axe de rotation.

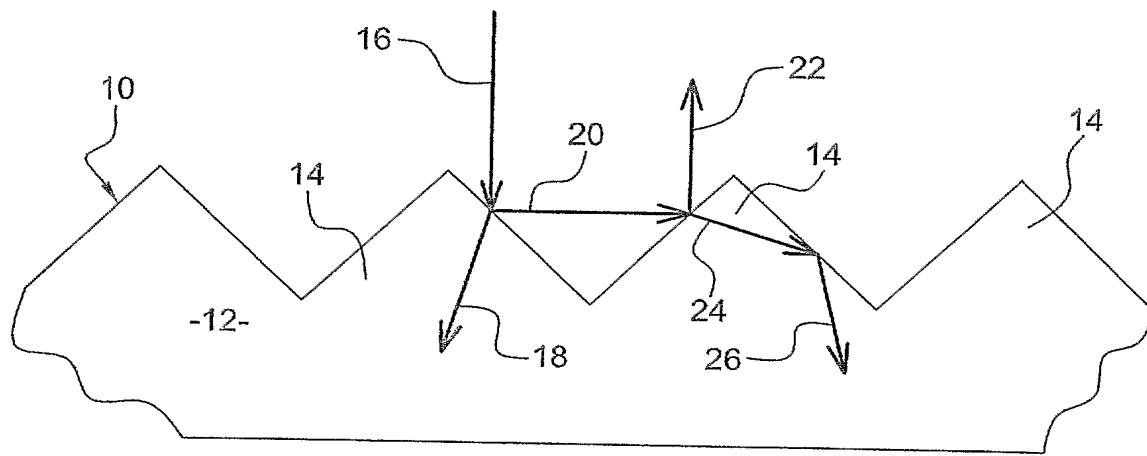


Fig. 1

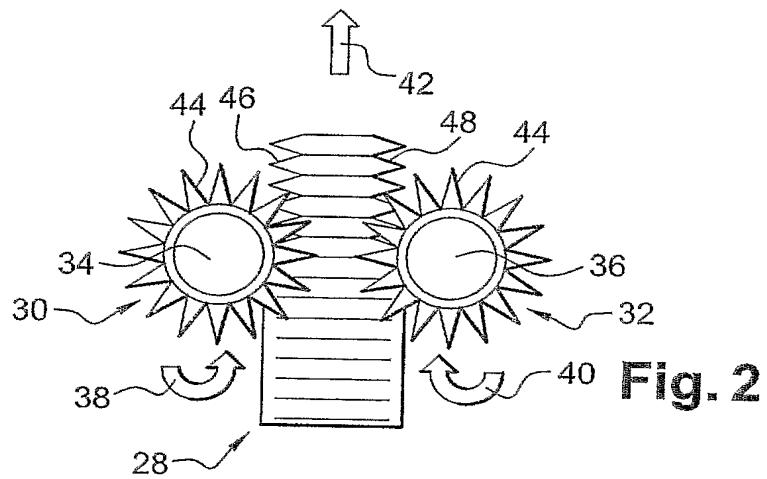


Fig. 2

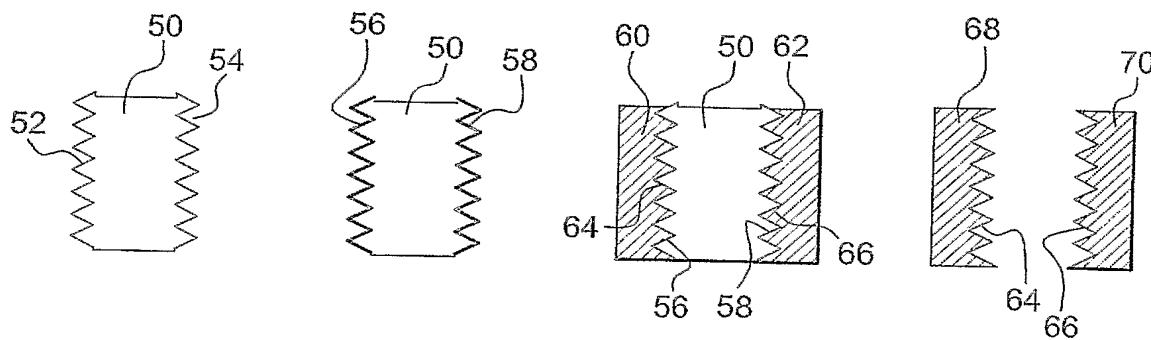


Fig. 3A

Fig. 3B

Fig. 3C

Fig. 3D

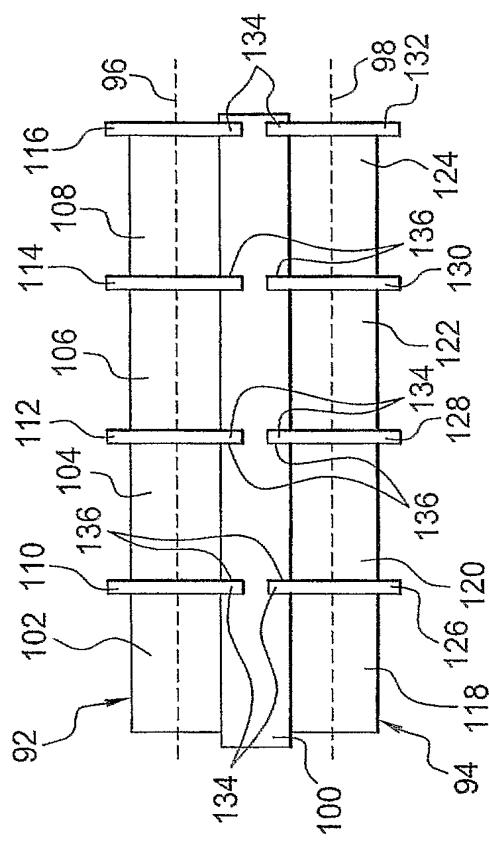


Fig. 5

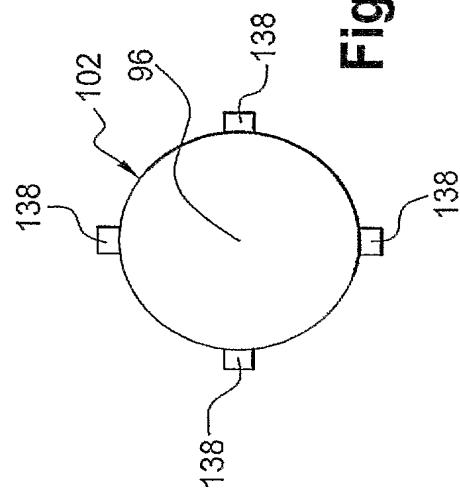


Fig. 6

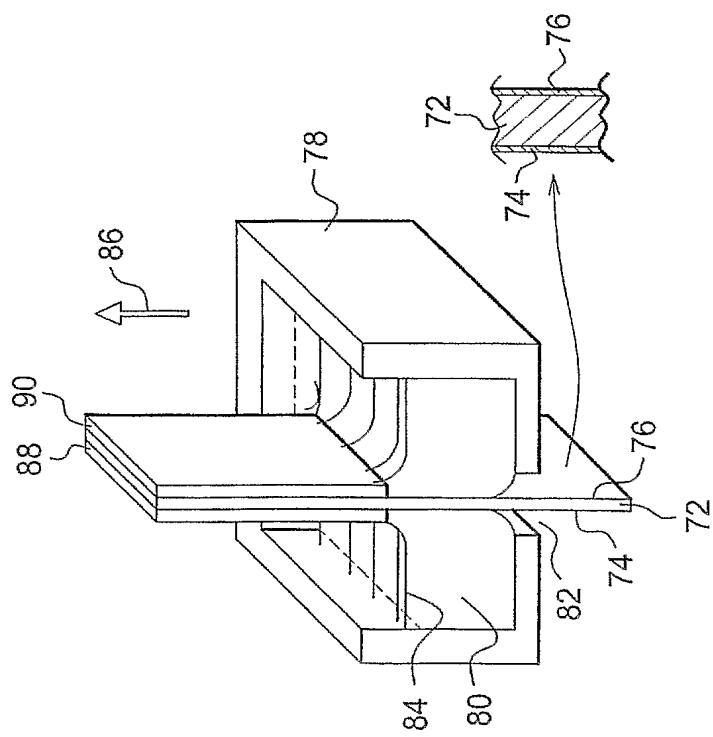


Fig. 4

BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI



N° 11235*02

DÉPARTEMENT DES BREVETS

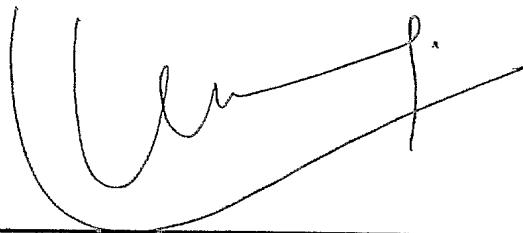
26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08
Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 93 59 30

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 1.../1...

(Si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 113 W/260899

Vos références pour ce dossier (facultatif)		P001199/LL/SSU	
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL		04 50680	
TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum) PROCEDE DE FABRICATION DE PLAQUES DE SILICIUM POLYCRYSTALLIN			
LE(S) DEMANDEUR(S) : SOLARFORCE 25/59, Chemin Saint-André 69760 LIMONEST			
DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) : (Indiquez en haut à droite «Page N° 1/1» S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez un formulaire identique et numérotez chaque page en indiquant le nombre total de pages).			
Nom		REMY	
Prénoms		Claude	
Adresse	Rue	25/59, Chemin Saint-André	
	Code postal et ville	69760	LIMONEST
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom		BELOUET	
Prénoms		Christian	
Adresse	Rue	1, rue Gaston Levy	
	Code postal et ville	92330	SCEAUX
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom			
Prénoms			
Adresse	Rue		
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (facultatif)			
DATE ET SIGNATURE(S) DU (DES) DEMANDEUR(S) OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire)		18 mars 2005 Laurence LENNE (CPI01-0101) 	

PCT/FR2005/050175

